

山梨県の水質の陸水学的研究 I

郡内地方の水道原水について

中島 郁子 堤 充紀 庄司 元和

田中正二郎 笠井 和平

まえがき

従来、我々は飲用水の水質試験として水道法による検査項目だけを実施してきたが、これだけでは水質本来の性質を把握するのはなかなかむずかしく、水質の変動や水資源確保などの資料としては充分とはいえない。水質はその生成機構や水塊内における物質代謝や環境との相互作用により非常にことなるものであるために、本当の水質を知ることはきわめて困難であるが、少しでも本県の水質を知るため昭和49年度当所に依頼された水道水のうち特に本県の東部に位置する郡内地方の水道の原水である地下水、湧水90件について、水道法試験につけ加えて陸水学的試験を実施した。

地球上に存在する水は何らかの形で循環しており、地下水も天水が地中にしみこんだものと考えられるが、地下水は特にその循環速度が遅いので地下水を包蔵している地下水層の地質の影響を特にうけやすい。また本県のように海岸からへだたっており、四面を山で囲こまれた内陸部では海岸からの風送塩の影響は少ないとみられるので、地下水の水質を知るため、岩石、土壌などに含まれていて、かつ水中の主溶解成分と考えられる塩類（炭酸塩、アルカリ金属塩、アルカリ土類金属塩、ケイ酸等）

に着目して検討し、若干の知見を得たので報告する。

試料の採取地点および地質の概略

採取地点：試料が採取された位置は図1のプロット地点である。

地質の概略：当該試験における郡内地方の地質⁽¹⁾は、北は白亜紀の関東山地、南は第四紀の陸上火山により生成した富士山や段丘堆積物からなり、その間を山中湖を源とした桂川が流れその左岸の御坂山脈、右岸の丹沢山地は第三紀のグリーンタフ帯と海底火山からなっている。関東山地は「四万十統帯」の小仏層に属し砂岩、粘板岩、石灰岩にとみ、グリーンタフ帯は緑色凝灰岩、玄武岩、安山岩に、第四紀は熔岩流、火砕流、粘土、ロームなどからできている。

試料および分析方法

試料：水質試験の依頼者および管轄保健所の担当者が水道の水源で当日採取し持参した水を試料とした。試料を入れる容器は当所で準備した5 l入りポリビンを使用した。

分析方法⁽²⁾：pH（比色法）、アルカリ度（pH 4.8 滴定法）、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} （EDTA法）、 Cl^- （モール法）、 SO_4^{2-} （比濁法）、溶性 SiO_2 （モリブデンブルー法）、 Na^+ 、 K^+ （炎光法）、導電率（偏位法）、蒸発残留物について測定した。

結果および考察

試験結果よりこの地方の水質は、有意水準0.05における算術平均でみると溶性 SiO_2 $0.41 \pm 0.03 \text{ mmol/l}$ ($25.45 \pm 1.64 \text{ ppm}$)、蒸発残留物 $99.2 \pm 10.2 \text{ ppm}$ 、 Ca^{2+} $0.59 \pm 0.05 \text{ me/l}$ ($11.8 \pm 1.0 \text{ ppm}$)、 Mg^{2+} $0.37 \pm 0.03 \text{ me/l}$ ($4.44 \pm 0.36 \text{ ppm}$)、 SO_4^{2-} $0.20 \pm 0.03 \text{ me/l}$ ($9.61 \pm 1.44 \text{ ppm}$)、 Na^+ $0.23 \pm 0.03 \text{ me/l}$ ($5.42 \pm 0.83 \text{ ppm}$)、 Cl^- $0.19 \pm 0.01 \text{ me/l}$ ($6.74 \pm 0.35 \text{ ppm}$)、導電率 $122.1 \pm 18.6 \mu\text{S/cm}$ 25°C となり、これらを我が国の平均的地下水⁽³⁾のそれと比較すると、溶性 SiO_2 のみが $0.30 \pm 0.02 \text{ mmol/l}$ に対して 0.11 mmol/l (6.6 ppm) 程高いが、蒸発残留物 $136 \pm 10 \text{ ppm}$ に対して 36.8 ppm 、



図1 採取場所 (90カ所)
●湧水 (68カ所)
△井戸水 (22カ所)

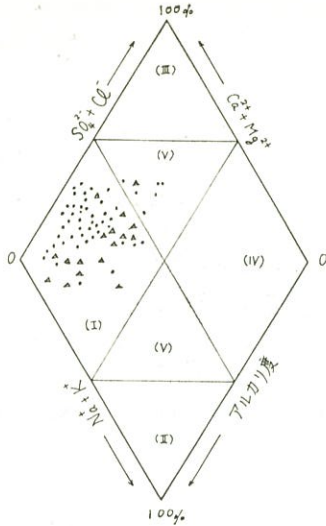


図2 鍵座標図

水質区分

- (I) アルカリ土類重炭酸塩
- (II) アルカリ重炭酸塩
- (III) アルカリ土類非重炭酸塩
- (IV) アルカリ非重炭酸塩
- (V) 中間区画

$\text{Ca}^{2+} + 0.99 \pm 0.11 \text{ me/l}$ に対して 0.40 me/l (8.0ppm),
 $\text{Mg}^{2+} + 0.55 \pm 0.05 \text{ me/l}$ に対して 0.18 me/l (2.2 ppm),
 $\text{SO}_4^{2-} + 0.42 \pm 0.8 \text{ me/l}$ に対して 0.22 me/l (10.5 ppm)
と低く、いずれも我が国の平均的地下水の50~70%の濃度となっている。

水質の表示方法は一般に $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ の me/l 値の各々の合計量の比を刻んだ鍵座標で示す(4)と理解しやすいので、我々の得た結果もこれにならって図示すると図2のようになる。

ここでは、 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ のかわりにアルカリ度を使用した。アルカリ度は HCO_3^- , CO_3^{2-} , CO_2^- などの炭酸塩および OH^- の合計(me/l)であり、特に pH が中性に近い淡水などではアルカリ度 (me/l) は、そのまま HCO_3^- (me/l) と考えてよい(3)(5)が、ここでは測定したアルカリ度で表示した。水の性質を表わす鍵座標で、普通の地下水はアルカリ土類重炭酸塩として、被圧性深層地下水はアルカリ重炭酸塩として、海水の侵入する地下水はアルカリ土類非重炭酸塩として区画している。本地方の場合、この表示方法にもとづけばアルカリ土類重炭酸塩に属し、ほとんどが普通の地下水として理解される。

普通天水のアルカリ度はごく小さく、地中にしみこんで岩石、土壌と接触して大きくなる。また Na^+ , K^+ ,

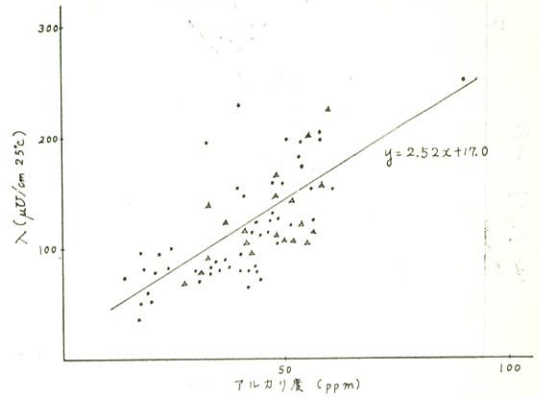


図3 アルカリ度 (ppm) と λ ($\mu\Omega/\text{cm } 25^\circ\text{C}$)

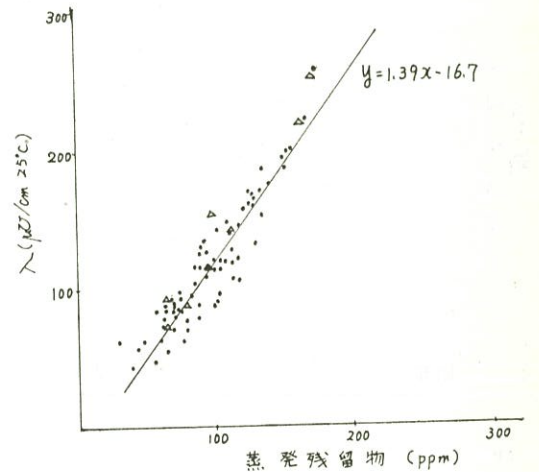


図4 蒸発残留物 (ppm) と λ ($\mu\Omega/\text{cm } 25^\circ\text{C}$)

Ca^{2+} , Mg^{2+} , SiO_2 などの大部分はこのアルカリ度の作用で岩石、土壌中より溶出するものとみられている(6)(7)。このことからアルカリ度と、水中に含有する陽イオン、陰イオンの合計量に関係する導電率は、図3のように高い相関関係が認められ回帰直線式は $y = 2.52x + 17.0$ である。

導電率と蒸発残留物は図4のような非常に高い相関関係を示す。一般に同一水系で pH 7~9 の範囲では蒸発残留物と導電率の割合が 1 : 0.5~0.8 の範囲にあることが多いといわれているが(8)、当地方においてはこの関係は、1 : 約 0.7 となった。

次にアルカリ度と Ca^{2+} , Mg^{2+} , SiO_2 などの溶解物質との関係を調べてみると各々図5, 6, 10, 11のような関係が得られた。

岩石からアルカリ土類金属 Ca^{2+} , Mg^{2+} が重炭酸塩 HCO_3^- とともに溶出する時は、 HCO_3^- と Ca^{2+} のみではなく Mg^{2+} も含めた $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ として論じるの

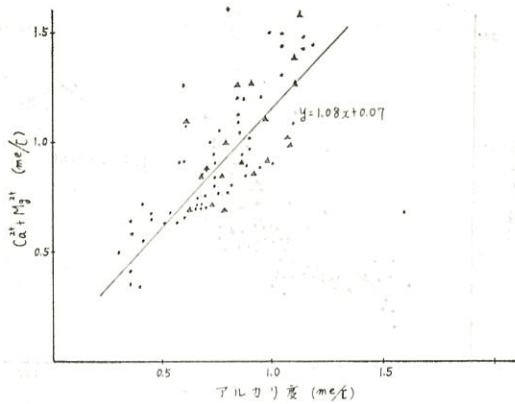


図5 アルカリ度 (me/l) と $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ (me/l)

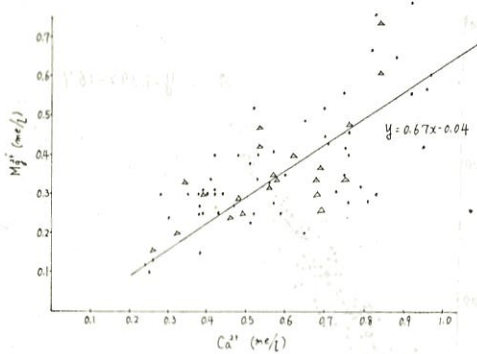


図6 Ca^{2+} (me/l) と Mg^{2+} (me/l)

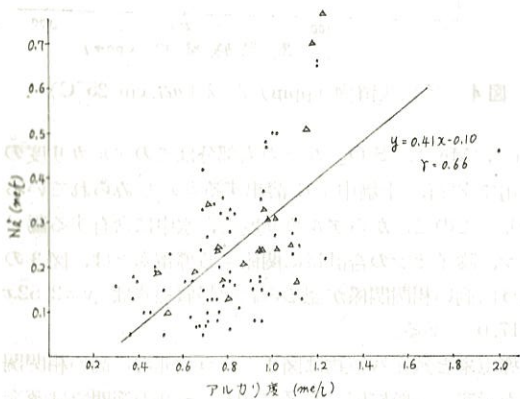


図7 アルカリ度 (me/l) と Na^+ (me/l)

が妥当と考えられるので図5に $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ とアルカリ度との関係を示した。この図から回帰直線式 $y = 1.08x + 0.07$ が得られ、同等量比すなわち $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ の組成で溶出していることがわかる。

Ca^{2+} と Mg^{2+} の当量比は、水質が全国の平均値よりいちじるしくはずれていない場合は、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+} \approx 0.6$ とされており(3) 当地方の水質も図6から比率0.64が得られこのことが適用される。しかし Mg^{2+} は、冬期に

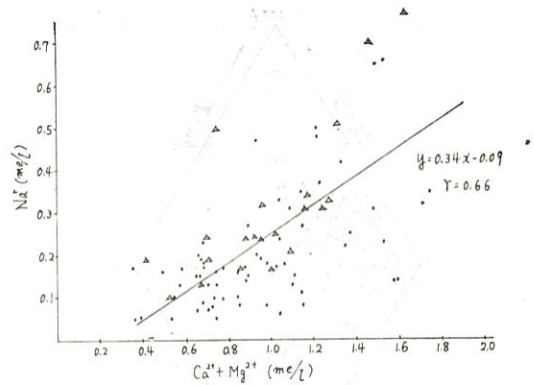


図8 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ (me/l) と Na^+ (me/l)

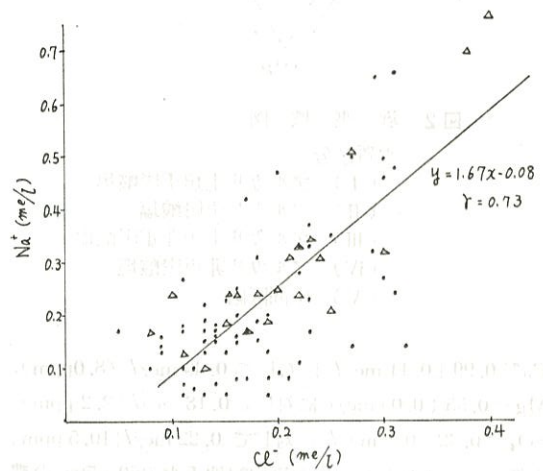


図9 Cl^- (me/l) と Na^+ (me/l)

増加する傾向が強いともいわれている(9)。この当量比より地質を推定できる場合もありこの値が特に大きい時には、海水の混入、緑岩の存在が考えられるが、本結果にも当量比の大きいのが少しみられるが、これは第三紀のグリーンタフ帯の緑色炭灰岩の地質に由来するのではないかと思う。

図7のアルカリ度と Na^+ との関係は、 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ のような高い相関関係は得られなかった。 Na^+ は土壌コロイドへの吸着力が弱いため、水中に放出されやすくまた塩基交換が生じたりすることで高い相関関係が成りたたないと考えられる。 Na^+ との相関関係数は0.66である。

Na^+ の塩基交換について、図8に Na^+ と $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ との相関関係を示した。地下水包蔵体を構成する物質に含まれる化学成分中の塩基で最も交換しやすいものは、一般に $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ であり、流動に伴って軟水化の傾向をとるといわれている。本結果では回帰直線式 $y = 0.34x - 0.09$ で $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ が多い水質には、

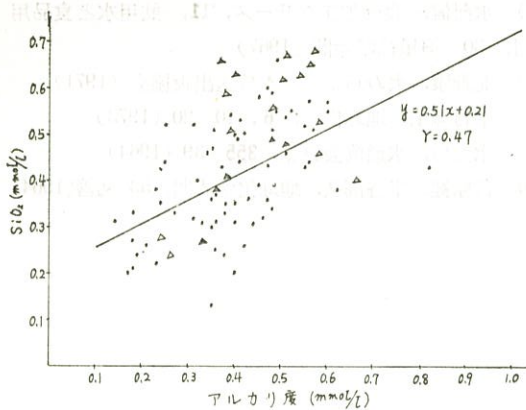


図10 アルカリ度 (mmol/l) と SiO_2 (mmol/l)

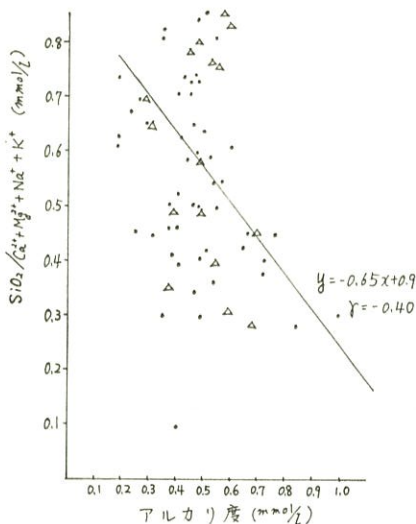


図11 アルカリ度 (mmol/l) と $\text{SiO}_2 / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$ (mmol/l)

Na^+ も多いという関係がみられたが、塩基交換をおもわせる逆相関関係の傾向も少しみられた。

Na^+ は岩石より溶出されるが、雨水、風送塩からの Cl^- との化合物である NaCl としても供給されていることが図9より示唆される。

Cl^- は、ほとんど全ての天然水にみいだされるが、岩石の風化により供給される量はごくわずかで、大部分が雨水、風送塩から由来する。岩石の平均塩素含有量は、火成岩で約0.04%程度でそのうち水中に供給されるのは1mg/l以下と推定されている。 Na^+ と Cl^- の回帰直線式は、 $y = 1.67x - 0.08$ である。

次に溶性 SiO_2 との関係を図10, 11に示してある。 SiO_2 は me/l としての表現より mmol/l としての表現の方が適当と思われるので他もすべて mmol/l とした。地殻の主たる構成物質であるケイ酸は、淡水中に必ずみられて、日本などのような火山国には比較的多く、第三

紀層火山地帯の地下水では30~40mg/lのものが多いといわれる。ケイ酸の含有量が40~60%の火成岩を塩基性岩といい含有量が65~75%位いの火成岩を酸性岩とよんでいる(10)。図11よりアルカリ度が小さく $\text{SiO}_2 / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$ の値が大きい水は酸性岩の、少ない水は塩基性岩の多い地層をそれぞれ通過してきたのではないかと推察される。相関関係式は、図10で $y = 0.51x + 0.21$ 、図11で $y = -0.65x + 0.9$ で表わされた。本試験における SiO_2 の測定値は、溶性 SiO_2 であるため重合している SiO_2 やコロイド状の SiO_2 は測定されていない。天然水に含まれるような濃度、pHの条件ではケイ酸物質の存在状態とpH値との関係はかなり複雑であるため、岩石、土壌よりのケイ酸とアルカリ金属、アルカリ土類金属との関係は、重合している SiO_2 やコロイド状の SiO_2 も含めた全 SiO_2 の測定をした方がより高い相関関係が得られるのではないかと思う。

む す び

本研究は、水道水試験と並行して実施したため、筆者らが直接採取しておらず、また季節による変化や、現場における試験、環境などの調査、地質の調査、岩石の分析、水位等の調査はしていないのでこれらの要因との関係は今後の研究をまたねばならないが、本研究結果より次のことが明らかとなった。

我が国における平均的地下水と本県の郡内地方の地下水は、溶性 SiO_2 を除いて溶解物質量はやや低いが、組成はアルカリ土類重炭酸塩に属し、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ と HCO_3^- との当量比は約1:1で $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ として岩石より溶出しており、導電率と蒸発残留物との関係は1:0.7、 Ca^{2+} と Mg^{2+} の当量比は0.64とほとんど同水準である。また地下水の水質に特に影響を与えているアルカリ度(炭酸塩類)とそれにより溶出したり、関係があると思われる $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 、 Na^+ 、導電率との間に相関関係がみられた。また SiO_2 とアルカリ金属、アルカリ土類金属の溶出をみるには溶性 SiO_2 では高い相関関係はみられなかった。

この地方において水質の溶解物質量や主成分を推定するには、アルカリ度がわかればおおよその量が推定できるものと思われる。なお井戸水と湧水の違いはみられなかった。

今後は、今回の調査の補足や他の地方、並びに岩石、土壌等の分析を並行して少しでも水質を理解していく計画である。

なお本研究に御協力して下さいました公衆衛生課、管轄保健所並びに市町村の担当者の方々に感謝いたします。

引用文献

- 1) 山梨県, 山梨県地質誌 (1970)
- 2) 日本水道協会, 上水試験方法 213 (1970)
- 3) 半谷高久, 水質調査法 丸善 (1960)
- 4) 酒井軍治郎, 地下水学 368 朝倉書店 (1965)
- 5) 日本分析化学会北海道支部編, 水の分析158(1966)
- 6) 永沢信, 食品加工シリーズ, 11, 飲用水と食品用水 30 恒星社厚生閣 (1967)
- 7) 北野康, 水の科学, 日本放送出版協会 (1971)
- 8) 中村誠佑, 地球化学, 6, 10-20 (1973)
- 9) 永沢信, 水道協会雑誌, 355, 39 (1964)
- 10) 菅原健, 半谷高久, 地球化学入門, 53 丸善(1964)